

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-228006

(43)Date of publication of application : 25.08.1998

(51)Int.Cl.

G02F 1/03

(21)Application number : 09-032489

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 17.02.1997

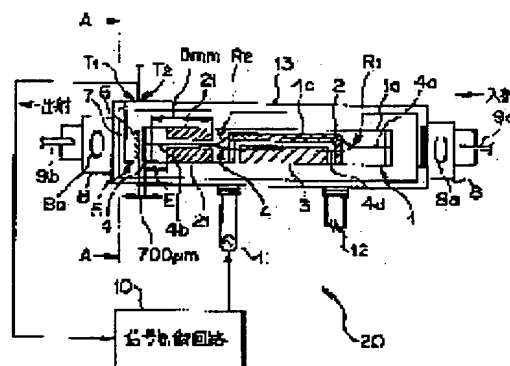
(72)Inventor : KUBOTA YOSHINOBU  
OMORI YASUHIRO  
OTANI TOSHIHIRO  
ITO TOMOYUKI

## (54) OPTICAL MODULATOR

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To increase the intensity of monitor light while adjusting the projection position of interference light as monitor light on a projection-side end surface by generating the interference light by making light exiting from a light guide part and signal light leaking from an optical waveguide part interfere with each other.

**SOLUTION:** Light emitted from a Y-shaped multiplexing part R2 and part of the signal light leaking from the Y-shaped multiplexing part R2 are made incident on a light guide area 21 provided nearby the optical waveguide part 3. The light guide area 1 guides the light emitted from the Y-shaped multiplexing part R2 and the leaking signal light so that they will not exit from end surfaces of a substrate 1a except the projection-side end surface. Namely, the incident light is prevented from being scattered to increase the intensity of monitor light projected from the projection end surface of the substrate 1a. Then the light projected from the light guide area 21 (principally the emitted light) further interferes with the signal light leaking from the Y-shaped multiplexing part R2 when propagated in the substrate 1a and is projected from the projection-side end surface of the substrate 1a as monitor light (interference light).



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

12.08.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

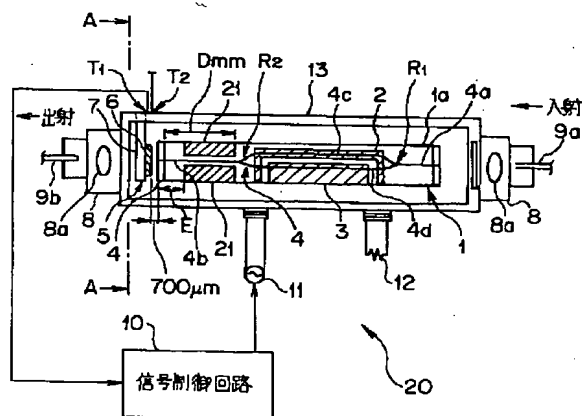
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成10年(1998)8月25日

502



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 電気光学効果を有する基板と、  
該基板上に形成されたマッハツェンダ型光導波路と、  
該基板上に形成され、該光導波路を伝播する光を制御するための電極と、  
該光導波路から放射され又は漏洩する光をガイドする光ガイド部と、  
該光ガイド部から出射される光と該光導波路から漏洩する信号光とを干渉させて干渉光を生成し、該干渉光を該基板の端面から出射させる干渉光生成手段と、  
該干渉光生成手段にて得られた該干渉光をモニタする光検知器と、  
該光検知器でモニタされた干渉光の変化に応じて、該電極に印加される直流バイアスを変化させることにより、  
光変調器動作点を制御する信号制御回路とをそなえて構成されたことを特徴とする、光変調器。

【請求項2】 電気光学効果を有する基板と、  
該基板上に形成されたマッハツェンダ型光導波路と、  
該基板上に形成され、該光導波路を伝播する光を制御するための電極と、  
該光導波路から放射され又は漏洩する光をガイドする光ガイド部と、  
該光ガイド部から出射される光と該光導波路から漏洩する信号光とを干渉させて干渉光を生成し、該干渉光を該基板の端面から出射させる干渉光生成手段とをそなえて構成されたことを特徴とする、光変調器。

【請求項3】 該光ガイド部の屈折率が、該基板の屈折率とは異なるように設定されていることを特徴とする、請求項1又は請求項2に記載の光変調器。

【請求項4】 該光ガイド部が、該光導波路から放射される放射光をガイドすることを特徴とする、請求項1又は請求項2に記載の光変調器。

【請求項5】 該光ガイド部が、該光導波路から放射される放射光と該光導波路から漏洩する信号光とをガイドすることを特徴とする、請求項1又は請求項2に記載の光変調器。

【請求項6】 該光ガイド部が、該光導波路を構成する出射側光導波路の近傍に設けられたことを特徴とする、請求項1又は請求項2に記載の光変調器。

【請求項7】 該光ガイド部が、該光導波路を構成する合波部及び該光導波路を構成し該合波部に接続された出射側光導波路からなる合波部付き出射側光導波路の近傍に設けられたことを特徴とする、請求項1又は請求項2に記載の光変調器。

【請求項8】 該光ガイド部が、チタン拡散により作製された光ガイド部として構成されていることを特徴とする、請求項1又は請求項2に記載の光変調器。

【請求項9】 該光ガイド部が、イオン交換により作製された光ガイド部として構成されていることを特徴とする、請求項1又は請求項2に記載の光変調器。

【請求項10】 該出射側光導波路が、直線光導波路であることを特徴とする、請求項6又は請求項7に記載の光変調器。

【請求項11】 該出射側光導波路が、屈曲部を有する曲線光導波路であることを特徴とする、請求項6又は請求項7に記載の光変調器。

【請求項12】 該干渉光が、信号光と逆位相となるように設定されていることを特徴とする、請求項1又は請求項2に記載の光変調器。

10 【請求項13】 該光検知器が、該基板の端面と出射用光ファイバの前段に設けられたレンズとの間に設けられたことを特徴とする、請求項1に記載の光変調器。

【請求項14】 該光検知器が、出射用光ファイバが結合された該基板の端面の後段に設けられたことを特徴とする、請求項1に記載の光変調器。

【請求項15】 該光検知器が、板部材上に光検出素子が設けられることにより構成されたことを特徴とする、請求項1に記載の光変調器。

20 【請求項16】 該板部材が、セラミック基板であることを特徴とする、請求項15記載の光変調器。

【請求項17】 該光検出素子が、ペアクリップであることを特徴とする、請求項15記載の光変調器。

【請求項18】 該基板が、ニオブ酸リチウム基板であることを特徴とする、請求項1又は請求項2に記載の光変調器。

【発明の詳細な説明】

【0001】（目次）

発明の属する技術分野

従来の技術（図28～図32）

30 発明が解決しようとする課題（図28、図31）

課題を解決するための手段

発明の実施の形態

・（a）本発明の一実施形態の説明（図1～図25）

・（b）本発明の一実施形態の変形例の説明（図26、図27）

発明の効果

【0002】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば超高速光通信システムの送信部において、信号光源から出射される光を変調するための外部光変調器として用いて好適な、光変調器に関する。

40 【0003】

【従来の技術】従来より、光通信システムの送信部においては、例えば信号光源としての半導体レーザから出射される光を変調する光変調器として、半導体レーザに流れる電流をデータ信号により変調する直接変調方式の光変調器が用いられている。ところが、近年では、光通信システムの高速化の要求から、光の変調も高速に行なう必要が生じており、この直接変調方式の光変調器を用いて高速に光の変調を行なうと、出射される信号光の波長

50

変動（チャージング）の影響が大きくなるため、光ファイバ内の波長分散により長距離伝送が困難となる。

【0004】このため、光の変調を高速に行なう際には、原理的にチャージングを生じない外部変調器が用いる必要があり、このような外部変調器の一例としては、図28に示すようなマッハツェンダ型光変調器がある。なお、図28に示すマッハツェンダ型光変調器100の出射側からみた斜視図を図29に示す。この図28に示すように、マッハツェンダ型光変調器100は、マッハツェンダ型光導波路デバイス101、光検知器107及び信号制御回路108をそなえて構成されている。

【0005】ここで、マッハツェンダ型光導波路デバイス101は、基板101a上にマッハツェンダ型光導波路104が形成され、この光導波路104上に進行波電極102及び接地電極103が形成されたものである。また、マッハツェンダ型光導波路104は、入射導波路104a、出射導波路104b及び中間導波路104c、104dからなり、中間導波路104c、104dは、それぞれ入射導波路104aと出射導波路104bとの間にY字状分岐部Q<sub>1</sub>及びY字状合波部Q<sub>2</sub>を介して平行に接続されている。

【0006】さらに、進行波電極102及び接地電極103は、光導波路104を伝播する光を制御するための電極であり、図28に示すように、光導波路104の中間導波路104c、104d上に形成される。また、光導波路104の入射導波路104aには、光ファイバ105aを介して半導体レーザ111からの直流光が入射され、光導波路104の出射導波路104bからは、変調された信号光が光ファイバ105bを介して光検知器112に出射されるようになっている。

【0007】なお、光検知器112は、光ファイバ105bを介して出射された信号光を受光して、電気信号に変換するものである。さらに、基板101aの出射側端面には、前述した光ファイバ105bのほか、光ファイバ106が直付けされており、光導波路104のY字状合波部Q<sub>2</sub>にて発生する放射光（モニタ光）は、この光ファイバ106を介して光検知器107に入射されるようになっている。

【0008】ここで、光検知器107は、光ファイバ106を介して入射された放射光を受光して、受光した放射光を電気信号に変換して信号制御回路108へ出力することにより、放射光をモニタするものである。また、光検知器107には信号制御回路108が接続されており、この信号制御回路108は、光検知器107でのモニタ結果（即ち光検知器107からの光出力電気信号の変化）に応じて、進行波電極102に印加される入力電気信号の直流バイアスを変化させるものである。

【0009】一般的に、マッハツェンダ型光変調器100においては、温度ドリフト、DCドリフト及び応力等による経時変化により、マッハツェンダ型光変調器10

0の動作点シフトが発生する。ここで、マッハツェンダ型光変調器100における動作点シフトについて、図30を用いて説明する。

【0010】図30は、マッハツェンダ型光変調器100の入出力特性を示す図であり、この図30において、①は動作点シフトが発生する前の特性を示し、②は動作点シフトが発生した場合の特性を示している。この図30に示すように、マッハツェンダ型光変調器100の入出力特性は、駆動電圧に対して周期性を有している。

【0011】従って、入力信号の各論理値に対応して出力光電力の上下の各尖頭値が得られる駆動電圧V<sub>0</sub>、V<sub>1</sub>を用いることにより、効率的な2値変調を行なっている。ところが、動作点シフトが発生した場合にも、駆動電圧V<sub>0</sub>、V<sub>1</sub>が一定であると、マッハツェンダ型光変調器100から出力される信号光は、前記の周期性により、図30に示すように消光比が劣化する。

【0012】従って、動作点シフトが発生した場合には、そのシフト量をdVとすると、駆動電圧V<sub>0</sub>、V<sub>1</sub>を、それぞれ(V<sub>0</sub>+dV)及び(V<sub>1</sub>+dV)として動作点制御を行なう必要がある。そこで、図28に示すマッハツェンダ型光変調器100においては、光検知器107により光導波路104のY字状合波部Q<sub>2</sub>にて発生する放射光をモニタし、光検知器107でのモニタ結果に応じて、信号制御回路108により進行波電極102に印加される入力電気信号の直流バイアスを変化させることにより、マッハツェンダ型光変調器100の動作点制御を行なうように構成されている。

【0013】なお、109は入力信号電源であり、110は終端抵抗である。このような構成により、図28に示すマッハツェンダ型光変調器100においては、半導体レーザ111からの直流光（入射光）は、光ファイバ105aを介して光導波路104の入射導波路104aに入射され、Y字状分岐部Q<sub>1</sub>で2つに分波された後に、中間導波路104c、104d中を伝播する。

【0014】このとき、進行波電極102に高周波変調信号電圧が印加されると、中間導波路104c、104dにおける電気光学効果により、分波された各入射光に位相差が生じ、このように位相差を生じた各入射光は、Y字状合波部Q<sub>2</sub>で再び合波される。このとき、中間導波路104c、104dにおける各入射光の位相差が0及びπとなるように駆動電圧を設定することにより、出射される信号光としてON-OFFの光パルス信号が得られ、光導波路104の出射導波路104bからは変調された信号光が出射される。

【0015】なお、出射導波路104bから出射された信号光は、光ファイバ105bを介して光検知器112により受光されて電気信号に変換される。一方で、光導波路104のY字状合波部Q<sub>2</sub>にて発生した放射光は、光ファイバ106を介して光検知器107により受光され、電気信号に変換された後に信号制御回路108へ出

力される。

【0016】そして、信号制御回路108では、光検知器107からの光出力電気信号の変化に応じて、進行波電極102に印加される入力電気信号の直流バイアスを変化させることにより、マッハツェンダ型光変調器100の動作点制御が行なわれる。このように、図28に示すマッハツェンダ型光変調器100によれば、マッハツェンダ型光変調器100の動作点の安定化を図ることができ、図30に示すような信号光の劣化を防いで、安定した光変調を行なうことができる。

【0017】ところが、図28に示すマッハツェンダ型光変調器100においては、光導波路104のY字状合波部Q<sub>1</sub>にて発生した放射光をモニタする際に、モニタ用の光ファイバ106を用いているため、この光ファイバ106のアライメントを行なう必要があり、機構上の設計が困難となる。即ち、変調された信号光が入射される光ファイバ105bと、光導波路104のY字状合波部Q<sub>1</sub>にて発生した放射光が入射される光ファイバ106とは、実際には約80μm程度しか離隔していないため、マッハツェンダ型光変調器100の製造が困難となるのである。

【0018】このため、図31に示すように、モニタ用の光ファイバ106を設けない構成としたマッハツェンダ型光変調器100Aも提案されている。なお、図31に示すマッハツェンダ型光導波路デバイス100Aの出射側の側面図を図32に示す。即ち、この図31に示すマッハツェンダ型光変調器100Aは、基板101aの出射側端面の後段に直接光検知器107を設け、基板101aの出射側端面から出射される放射光を、光検知器107により直接受光するように構成されている。

【0019】ここで、図31において、図28に示すマッハツェンダ型光変調器100におけるものと同様の符号を付したものは、それぞれ同様の構成及び機能を有するものである。また、図31において、113は半導体レーザ(図31では図示せず)からの直流光が入射される光ファイバであり、114は光ファイバ113からの入射光を集光するためのレンズであり、115は光導波路104の出射導波路104bから出射される信号光を集光するためのレンズであり、116はレンズ115からの信号光を出射するための光ファイバである。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図28、図31にそれぞれ示すマッハツェンダ型光変調器100、100Aにおいては、光導波路104のY字状合波部Q<sub>1</sub>にて発生した放射光は、Y字状合波部Q<sub>1</sub>の近傍に均一に放射されるため、基板101aの出射側端面から出射される放射光の強度が小さく、光変調器の動作点制御を安定して行なうことが困難であるという課題がある。

【0021】本発明は、このような課題に鑑み創案され

たもので、基板の出射側端面におけるモニタ光の出射位置を調節するとともに、モニタ光の強度を増加させることにより、機構上の設計を容易にししながら、光変調器の動作点制御を安定して行なえるようにした、光変調器を提供することを目的とする。

【0022】

【課題を解決するための手段】このため、本発明の光変調器は、電気光学効果を有する基板と、基板上に形成されたマッハツェンダ型光導波路と、基板上に形成され、光導波路を伝播する光を制御するための電極と、光導波路から放射され又は漏洩する光をガイドする光ガイド部と、光ガイド部から出射される光と光導波路から漏洩する信号光とを干渉させて干渉光を生成し、干渉光を基板の端面から出射させる干渉光生成手段と、干渉光生成手段にて得られた干渉光をモニタする光検知器と、光検知器でモニタされた干渉光の変化に応じて、電極に印加される直流バイアスを変化させることにより、光変調器動作点を制御する信号制御回路とをそなえて構成されたことを特徴としている(請求項1)。

【0023】また、本発明の光変調器は、電気光学効果を有する基板と、基板上に形成されたマッハツェンダ型光導波路と、基板上に形成され、光導波路を伝播する光を制御するための電極と、光導波路から放射され又は漏洩する光をガイドする光ガイド部と、光ガイド部から出射される光と光導波路から漏洩する信号光とを干渉させて干渉光を生成し、干渉光を基板の端面から出射させる干渉光生成手段とをそなえて構成されたことを特徴としている(請求項2)。

【0024】ここで、光ガイド部の屈折率は、基板の屈折率とは異なるように設定されている(請求項3)。また、光ガイド部は、光導波路から放射される放射光をガイドしてもよく(請求項4)、光導波路から放射される放射光と光導波路から漏洩する信号光とをガイドしてもよい(請求項5)。

【0025】さらに、光ガイド部は、光導波路を構成する出射側光導波路の近傍に設けてもよく(請求項6)、光導波路を構成する合波部及び光導波路を構成し合波部に接続された出射側光導波路からなる合波部付き出射側光導波路の近傍に設けてもよい(請求項7)。また、光ガイド部は、チタン拡散により作製された光ガイド部として構成されてもよく(請求項8)、イオン交換により作製された光ガイド部として構成されてもよい(請求項9)。

【0026】さらに、出射側光導波路は、直線光導波路であってもよく(請求項10)、屈曲部を有する曲線光導波路であってもよい(請求項11)。また、干渉光は、信号光と逆位相となるように設定することができる(請求項12)。さらに、光検知器は、基板の端面と出射用光ファイバの前段に設けられたレンズとの間に設けてもよく(請求項13)、出射用光ファイバが結合され

10

20

30

40

50

た基板の端面の後段に設けてもよい（請求項14）。

【0027】ここで、光検知器は、板部材上に光検出素子を設けることにより構成することができ（請求項15）、このとき、板部材がセラミック基板であってもよく（請求項16）、光検出素子がベアチップであってもよい（請求項17）。また、基板は、ニオブ酸リチウム基板であってもよい（請求項18）。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

（a）本発明の一実施形態の説明

図1は本発明の一実施形態にかかる光変調器の構成を示す模式図である。この図1に示す光変調器は、レンズ結合系のマッハツェンダ型光変調器であり、例えば超高速光通信システムの送信部において、半導体レーザ等の信号光源から出射される光を変調するための外部光変調器として用いられるものである。

【0029】また、図2は図1に示すマッハツェンダ型光変調器20のA-A断面図であり、図3は図1に示すマッハツェンダ型光変調器20の入射側から出射側をみたときの斜視図である。さらに、図4は図1に示すマッハツェンダ型光変調器20の要部構成を示す模式図であり、図5は図4に示すマッハツェンダ型光導波路デバイス1の出射側の側面図である。

【0030】また、図6（a）、図6（b）はそれぞれ光検知器5の配設位置について説明するための図であり、図7は図6（b）に示す光検知器5を示す図である。図1に示すように、マッハツェンダ型光変調器20は、マッハツェンダ型光導波路デバイス1及び光検知器5を内蔵したパッケージ13と、信号制御回路10とをそなえて構成されている。

【0031】また、パッケージ13の入射側及び出射側には、集光性を高めるためのレンズ8aを有するレンズホルダ8を介して、光ファイバ9a、9bがそれぞれ接続されている。なお、11は入力信号電源であり、12は終端抵抗である。ここで、マッハツェンダ型光導波路デバイス1は、基板1a上にマッハツェンダ型光導波路4が形成され、この光導波路4上に進行波電極2及び接地電極3が形成されたものである。

【0032】また、光導波路4の近傍には、光ガイド領域21が設けられている。ここで、基板1aは、電気光学効果を有するニオブ酸リチウム（ $\text{LiNbO}_3$ ）基板（Z板）である。また、マッハツェンダ型光導波路4は、入射導波路4a、出射導波路4b及び中間導波路4c、4dからなり、中間導波路4c、4dは、それぞれ入射導波路4aと出射導波路4bとの間にY字状分岐部R<sub>1</sub>及びY字状合波部R<sub>2</sub>を介して平行に接続されている。

【0033】光導波路4の入射導波路4aには、パッケージ13に接続された光ファイバ9aを介して半導体レ

ーザ（図示せず）からの直流光が入射され、光導波路4の出射導波路4bからは、変調された信号光がパッケージ13に接続された光ファイバ9bに出射されるようになっている。なお、光ファイバ9aは、定偏波ファイバであり、光ファイバ9bはシングルモードファイバである。

【0034】ここで、光導波路4は、ニオブ酸リチウム（ $\text{LiNbO}_3$ ）の基板1aの表面に厚さ1000Åのチタン（Ti）等の金属を蒸着して、フォトリソグラフィ及びエッチングによりパターン化し、1000℃の高温酸素中（ $\text{Wet O}_2$ 、中）に8時間おき、Ti等の金属を同基板1a中に拡散させるチタン拡散処理により形成される。

【0035】即ち、光導波路4は、基板1a内の光導波路部分だけにTi等の金属を選択的に拡散させることにより、その部分の屈折率が他の部分（基板1a）の屈折率よりも大きくなるように構成されている。そして、光導波路4の上には、光導波路4上の金属電極層（進行波電極2及び接地電極3）による光の吸収を小さくするために、二酸化ケイ素（ $\text{SiO}_2$ ）等の薄膜からなるバッファ層（図示せず）が形成されている。

【0036】また、この図示しないバッファ層の上には、マッハツェンダ型光導波路デバイス1の温度安定性を向上させるために、同じく図示はしないが、ケイ素（Si）を堆積したコーティング（Siコート）が施されている。ところで、進行波電極2及び接地電極3は、光導波路4を伝播する光を制御するための電極であり、光導波路4の中間導波路4c、4d上に、例えば金（Au）等の金属を蒸着することにより形成される。

【0037】進行波電極2及び接地電極3は、それぞれ入力信号電源11と接続されており、この入力信号電源11から入力信号（変調波信号）に応じた電圧が印加されることにより、後述するように中間導波路4c、4dの屈折率を変化させて、光ファイバ9aを介して入射された半導体レーザ（図示せず）からの直流光の変調を行なうものである。

【0038】そして、半導体レーザからの直流光は、進行波電極2及び接地電極3により変調されることにより、信号光（主信号光）又は放射光として光導波路4のY字状合波部R<sub>2</sub>から出射されるようになっている。ここで、信号光と放射光とは、図12に示すように、それぞれ位相が反転した関係にある。また、信号光及び放射光は、それぞれ駆動電圧に対して周期性を有している。なお、図12においては、信号光を符号Mで示し、放射光を符号Nで示す。

【0039】また、図13（a）、図13（b）にマッハツェンダ型光導波路デバイス1の光導波路4を簡略化して示す。ここで、図13（a）は電圧が印加されないときの光の伝播の様子を示し、図13（b）は電圧が印加されたときの光の伝播の様子を示している。また、図

10

20

30

40

50

13 (a), 図13 (b)においては、光導波路4の各導波路(入射導波路4a, 出射導波路4b, 中間導波路4c, 4d)に、伝播モードが波形状の図形で示されている。

【0040】図13 (a)においては、図示しない半導体レーザからの直流光は、所定の入力モードで入射導波路4aに入射されると、Y字状分岐部R<sub>1</sub>により分波されて中間導波路4c, 4dに入射され、中間導波路4c, 4dを入力モードと同じモードでそれぞれ伝播した後に、Y字状合波部R<sub>2</sub>においてこれらの光が合波されて、同じモードで出射導波路4bから出射される。

【0041】また、図13 (b)においては、図示しない半導体レーザからの直流光は、所定の入力モードで入射導波路4aに入射されると、Y字状分岐部R<sub>1</sub>により分波されて中間導波路4c, 4dに入射されるが、この場合においては、電圧の印加により中間導波路4c, 4dの屈折率が変化しているため、光の伝播速度が変化する。

【0042】従って、中間導波路4c, 4dを伝播する光に位相差が生じ、Y字状合波部R<sub>2</sub>においてこれらの位相の異なる光が合波されると、出射導波路4bに入射すべきモードが入力モードとは変化したものになる。このため、Y字状合波部R<sub>2</sub>に到達した光は、出射導波路4bに出射することができなくなり、基板1aの内部に放射光として放射されることになる。

【0043】ところが、前述した条件にて光導波路4を作製すると、Y字状合波部R<sub>2</sub>からは、信号光がわずかに基板1aの内部に漏洩する。そして、Y字状合波部R<sub>2</sub>から放射される放射光と、Y字状合波部R<sub>2</sub>から漏洩する信号光の一部とは、光導波路4の近傍(具体的には、光導波路4の出射導波路4bの両側の近傍)に設けられた光ガイド領域21に入射されるようになっている。

【0044】ここで、光ガイド領域21は、Y字状合波部R<sub>2</sub>から放射される放射光とY字状合波部R<sub>2</sub>漏洩する信号光とを、基板1aの出射側端面以外の端面から出射されないようにガイドするものであり、光ガイド部として機能するものである。即ち、光ガイド領域21は、同領域21に入射された光をガイドして、入射された光の散乱を防ぐことにより、基板101aの出射側端面から出射されるモニタ光の強度を増加させるために設けられているのである。

【0045】ここで、光ガイド領域21に入射される放射光の強度は、同領域21に入射される信号光の強度よりも大きいため、光ガイド領域21では、主として入射された放射光がガイドされることになる。この光ガイド領域21も、前述した光導波路4と同様に、導波路形成プロセス時に、基板1a内の光ガイド領域部分だけにTi等の金属を選択的に拡散させるチタン拡散処理により、その部分の屈折率が他の部分(基板1a)の屈折率

よりも大きくなるように構成されている。

【0046】ここで、光ガイド領域21は、光導波路4の出射導波路4bから7~10μm程度離隔した位置に設けられている。実際には、マッハツェンダ型光変調器20においては、波長チャープをつけるために、出射導波路4b上にも進行波電極2を形成して(図1においては図示せず)、出射導波路4bにて位相変調を行なっている。

【0047】このため、光ガイド領域21上にも進行波電極2が形成されているが(図1においては図示せず)、位相変調の際には、進行波電極2により光ガイド領域21にも電圧が印加されるため、その屈折率が変化してしまう。そして、光ガイド領域21の屈折率変化は、出射導波路4bから漏洩した信号光に影響を与え、変調波形を劣化させてしまう。

【0048】このため、光ガイド領域21は、出射導波路4bから7~10μm程度離隔した位置に設けているのである。なお、光ガイド領域21の長さが短いときは、出射導波路4bと光ガイド領域21とのギャップを小さくすることができる。また、光ガイド領域21に入射された上記の放射光及び信号光は、光ガイド領域21内部で干渉した後に、光ガイド領域21から基板1a内部に出射されることになる。

【0049】そして、光ガイド領域21から出射された光(主として放射光)は、基板1aの内部を伝播する際に、Y字状合波部R<sub>2</sub>から漏洩した信号光と更に干渉して、モニタ光(干渉光)として基板1aの出射側端面から出射される。即ち、出射導波路4bにおける部位Eの近傍の基板1aが、光ガイド領域21から出射される光と、Y字状合波部R<sub>2</sub>から漏洩する信号光とを干渉させて干渉光を生成し、この干渉光を基板1aの出射側端面から出射させる干渉光生成手段として機能するのである。

【0050】なお、光ガイド領域21では、前述のごとく主として放射光がガイドされるため、基板1aから出射される干渉光の位相は信号光とは逆位相となる。また、干渉光の位相の設定については、後述にて説明する。ところで、図1に示すように、基板1aの出射側の端面の後段には光検知器5が設けられており、光検知器5の端子T<sub>1</sub>には信号制御回路10が接続されている。なお、光検知器5の端子T<sub>2</sub>は接地されている。

【0051】具体的には、この光検知器5は、図1に示すように、パッケージ13内において、出射用の光ファイバ9bの前段に設けられたレンズ8aと、マッハツェンダ型光導波路デバイス1の基板1aの出射側端面との間に介装されている。この光検知器5は、図1~図3に示すようにセラミック基板7上に光検出素子としてのペアチップ6が設けられることにより構成され、基板1aの出射側端面から出射されたモニタ光(干渉光)を受光して、受光した干渉光を電気信号に変換して信号制御回

路10へ出力することにより、干渉光をモニタするものである。なお、光検知器5の大きさの一例を、図7に示す。また、この図7において、5aは電極である。

【0052】ところで、信号制御回路10は、光検知器5でのモニタ結果（即ち光検知器5からの光出力電気信号の変化）に応じて、進行波電極2に印加される入力電気信号の直流バイアスを変化させるものである。前述したように、一般的に、マッハツェンダ型光変調器20においては、温度ドリフト、DCドリフト及び応力等による経時変化により、マッハツェンダ型光変調器20の動作点シフトが発生する。

【0053】このように、動作点シフトが発生した状態で光変調を行なうと、図30を用いて前述したように消光比の劣化が生じる。そこで、光検知器5により基板1aの出射側端面から出射された干渉光をモニタし、光検知器5でのモニタ結果に応じて、信号制御回路10により進行波電極2に印加される入力電気信号の直流バイアスを変化させることにより、マッハツェンダ型光変調器20の動作点制御を行なうように構成されている。

【0054】ここで、本実施形態にかかるマッハツェンダ型光変調器20においては、干渉光が基板1aの出射側端面における光導波路端部位置（光導波路4の出射導波路4bの端部位置）から所望の距離だけ離隔した位置に出射されるように、干渉光の位相が設定されている。具体的には、光検知器5は、出射導波路4bから光ファイバ9bへ入射される信号光を遮らないようにするために、基板1aの出射側端面における出射導波路4bの端部位置から数百 $\mu\text{m}$ 程度〔図6（b）ではこの距離をYで示しており、この距離Yは例えば約600～800 $\mu\text{m}$ 程度である〕下げた位置に設けられている。

【0055】また、光検知器5は、図1、図6（a）に示すように、基板1aの出射側端面から放射した干渉光の放射領域を更に広げるために、基板1aの出射側端面から数百 $\mu\text{m}$ 程度離れた位置に設けられている。なお、図1、図6（a）においては、光検知器5を基板1aの出射側端面から700 $\mu\text{m}$ 離れた位置に設けた場合について示している。

【0056】ここで、干渉光の位相及び強度は、光導波路4の作製条件を調整することにより設定されている。即ち、干渉光の位相及び強度の設定は、光導波路4の作製条件として、光導波路4を作製する際の拡散条件を変えて、光導波路4のY字状合波部R<sub>1</sub>から漏洩する信号光パワー（信号光強度）を調整することにより行なわれている。

【0057】また、干渉光の位相及び強度の設定は、光導波路4の作製条件として、光導波路4の出射導波路4bの長さD〔即ち光導波路4のY字状合波部R<sub>1</sub>と基板1aの出射側端面との長さD；図1、図6（a）参照〕を変えて、出射導波路4bを伝播する際に漏洩する信号光パワーを調整することによっても行なわれる。なお、

本実施形態においては、出射導波路4bの長さは、干渉光を基板1aの出射側端面の全面に放射させるために、例えば4.5mm以上に設定されている。

【0058】上述の構成により、本発明の一実施形態にかかるマッハツェンダ型光変調器20においては、図示しない半導体レーザからの直流光が光ファイバ9aを介してパッケージ13に入射されると、入射光はマッハツェンダ型光導波路デバイス1の光導波路4に入射される。マッハツェンダ型光導波路デバイス1では、入射導波路4aから入射された光は、Y字状分岐部R<sub>1</sub>で分岐されて中間導波路4c、4dを伝播する間に進行波電極2及び接地電極3により変調され、変調された光は、光導波路4のY字状合波部R<sub>2</sub>で合波される。

【0059】これにより、Y字状合波部R<sub>2</sub>では信号光及び放射光が発生し、信号光は出射導波路4bから出射され、放射光はY字状合波部R<sub>2</sub>から基板1aの内部に放射される。一方、Y字状合波部R<sub>2</sub>からは、信号光がわずかに基板1aの内部に漏洩する。

【0060】そして、放射光及び漏洩した信号光は、光ガイド領域21に入射され、入射された光は、光ガイド領域21により散乱を防ぎながらガイドされた後に、基板1a内部に出射される。さらに、光ガイド領域21から出射された光は、基板1aの内部を伝播する際に、Y字状合波部R<sub>2</sub>から漏洩した信号光と干渉して、干渉光として基板1aの出射側端面から出射される。

【0061】このとき、前述のごとく、光導波路4の作製条件の調整により干渉光の位相が設定されているため、干渉光は基板1aの出射側端面における出射導波路4bの端部位置から所望の距離だけ離隔した位置に出射される。そして、出射された干渉光は、当該位置に配設された光検知器5により受光され、光検知器5では、受光した干渉光が電気信号に変換されて信号制御回路10へ出力される。

【0062】この結果、信号制御回路10では、光検知器5からの光出力電気信号の変化に応じて、進行波電極2に印加される入力電気信号の直流バイアスを変化させることにより、マッハツェンダ型光変調器20の動作点制御が行なわれる。なお、マッハツェンダ型光導波路デバイス1の出射導波路4bから出射された信号光は、レンズ8aを介してパッケージ13に接続された光ファイバ9bに出射される。

【0063】ここで、図14～図25を用いて、本実施形態にかかるマッハツェンダ型光変調器20の特性について説明する。図14～図16は、ともに干渉光強度の特性について説明するための図であり、図23～図25は、ともにBPM（ビーム・プロファイル・メソッド）シミュレーション結果を示す図である。

【0064】また、図17、図20はともに信号光のパワー分布を示す図であり、図18、図21はともに放射光のパワー分布を示す図であり、図19、図22はとも



に干渉光の位相分布を示す図である。

(1) 出射導波路4bの近傍に光ガイド領域21を設けない場合

この場合の信号光のパワー分布及び放射光のパワー分布を、それぞれ図17、図18に示すと、図17、図18より、干渉光の位相分布は図19に示すようになる。

【0065】この場合は、放射光の強度が小さいため、干渉光の位相は信号光と同位相となる。また、図19に示すように、干渉光は、基板1aの出射側端面における出射導波路4bの端部位置から約600～800μm程度下方に出射する。さらに、図23に、この場合におけるBPMシミュレーション結果を示す。この図23は、光導波路4のY字状合波部R<sub>2</sub>から放射され又は漏洩する光についての分布を示すものである。

【0066】この場合には、図23より、Y字状合波部R<sub>2</sub>から出射される光は、殆ど基板1aの出射側端面以外の端面から出射されることがわかるため、基板1aの出射側端面から出射されるモニタ光(干渉光)はかなり散乱すると考えられる。

(2) 出射導波路4bの近傍に光ガイド領域21を設けた場合

この場合の信号光のパワー分布及び放射光のパワー分布を、それぞれ図20、図21に示すと、図20、図21より、干渉光の位相分布は図22に示すようになる。

【0067】この場合は、放射光の強度が増加するため、干渉光の位相は信号光と逆位相となる。また、図22に示すように、干渉光は、基板1aの出射側端面における出射導波路4bの端部位置から約600～800μm程度下方に出射する。さらに、図24、図25に、この場合におけるBPMシミュレーション結果を示す。

【0068】この図24、図25も、光導波路4のY字状合波部R<sub>2</sub>から放射され又は漏洩する光についての分布を示すものであるが、図24、図25においては、それぞれ光ガイド領域21の矩形幅が100μm、200μmである場合について示している。この場合には、図24、図25より、Y字状合波部R<sub>2</sub>から出射される光は、光ガイド領域21により基板1aの出射側端面の方向にガイドされることがわかるため、基板1aの出射側端面から出射されるモニタ光(干渉光)の散乱を低減することができると考えられる。

【0069】なお、図25に示すように、光ガイド領域21の矩形幅を大きくすると、Y字状合波部R<sub>2</sub>から出射される光の散乱を大幅に低減できるとともに、基板1aの出射側端面の広い領域に放射光をガイドすることが可能となる。さらに、光ガイド領域21を設けた場合の干渉光強度R<sub>oc</sub>、R<sub>ac</sub>の一例を、図16において符号K<sub>2</sub>で示し、光ガイド領域21を設けない場合の干渉光強度R<sub>oc</sub>、R<sub>ac</sub>を、図16において符号K<sub>1</sub>で示す。

【0070】ここで、R<sub>oc</sub>、R<sub>ac</sub>は、図14に示す光検知器(PD)5からの光出力電気信号(電流信号)の平

均値をI<sub>ave</sub>、この光出力電気信号のピーク値とボトム値との差分をΔI。(図14、図15参照)、図14に示す信号光源(LD MOD)22からの出力電流をP<sub>in</sub>とすると、それぞれ次式①、②により定義される。

$$R_{oc} = I_{ave} / P_{in} (A/W) \quad \cdots \cdots \textcircled{1}$$

$$R_{ac} = \Delta I / P_{in} (A/W) \quad \cdots \cdots \textcircled{2}$$

そして、R<sub>oc</sub>とR<sub>ac</sub>との比が小さくなるように干渉光強度を調整する(即ち、R<sub>oc</sub>がより小さく、R<sub>ac</sub>がより大きくなるようにマッハツェンダ型光変調器20を設計することにより、信号制御回路10におけるS/N比を改善し、マッハツェンダ型光変調器20の動作点制御の安定化を図ることができる。

【0071】図16に示すように、光ガイド領域21を設けた場合には、光ガイド領域21を設けない場合と比べて、R<sub>ac</sub>をより大きくすることができ、信号制御回路10におけるS/N比を改善し、マッハツェンダ型光変調器20の動作点制御の安定化を図ることができる。なお、図14において、符号23は、信号制御回路10からのパイロット信号を受けてマッハツェンダ型光導波路デバイス(LN MOD)1を制御する駆動回路(DRV)である。

【0072】また、図17～図22では、横軸に示すX[μm]及び縦軸に示すY[μm]は、それぞれ図6(b)に示すX及びY(Yは前述した距離Yに相当する)に対応するものである。図17～図22では、前述した距離Yが、基板1aの出射側端面における出射導波路4bの端部位置から下方向への長さであることを示すために、縦軸に示すYに負の数値を記している。

【0073】また、横軸に示すXにおいては、基板1aの出射側端面における出射導波路4bの端部位置を0で示し、この出射導波路4bの端部位置からの右方向への長さを正の数値で、左方向への長さを負の数値でそれぞれ示している。なお、図17～図22において、信号光のパワー分布、放射光のパワー分布又は干渉光の位相分布が非対称となっているのは、出射された光の反射戻り光を低減させるために、マッハツェンダ型光導波路デバイス1として、上面からみたときに基板1aの出射側端面が斜めにカットされたものを用いたためである(図11参照)。

【0074】このように、本発明の一実施形態にかかるマッハツェンダ型光変調器20によれば、光ガイド領域21にて光導波路4から放射され又は漏洩する光をガイドするとともに、動作点制御を行なう際に使用するモニタ光として、光ガイド領域21から出射される光と光導波路4から漏洩する信号光との干渉光を用いることにより、基板101aの出射側端面におけるモニタ光の出射位置を調節しながら、基板101aの出射側端面から出射されるモニタ光(干渉光)の強度を増加させることができる。

【0075】これにより、変調された信号光が入射され

る光ファイバ9bと干渉光を受光する光検知器5とを所望の距離だけ離隔して配設することができるため、図28に示すようなモニタ用の光ファイバ(符号106参照)を設ける必要がなくなり、マッハツェンダ型光変調器20の機構上の設計を容易にすることができる。また、マッハツェンダ型光変調器20の動作点制御を安定して行なえるようになるため、マッハツェンダ型光変調器20の動作点シフトに伴う信号光の消光比の劣化を防止して、安定した光変調を行なうことができる。

【0076】さらに、光検知器5が、図6(b)に示すように、基板1aの出射側端面における出射導波路4bの端部位置から所定長(距離Y)下げた位置に設けられることにより、光導波路4の出射導波路4bから光ファイバ9bへ入射される信号光を遮らないようにすることができる。また、光検知器5が、図1、図6(a)に示すように、基板1aの出射側端面から数百 $\mu\text{m}$ (例えば約700 $\mu\text{m}$ )離れた位置に設けられることにより、基板1aの出射側端面から放射した干渉光の放射領域をさらに広げることができる。

【0077】さらに、光導波路4の出射導波路4bの長さDを、例えば4.5mm以上に設定すれば、干渉光を基板1aの出射側端面の全面に放射させることが可能となるため、光検知器5により容易に干渉光をモニタすることができる。なお、本実施形態においては、光ガイド領域21の形状を、図9(a)に示すような形状とした場合について説明したが、図9(b)、図9(c)に示すような形状とすることもできる。

【0078】特に、光ガイド領域21の形状を、図9(c)に示すように、基板1aの出射側端面にいくつれて幅が細くなるような形状とすれば、光導波路4から放射され又は漏洩する光の集光性を高めることができる。また、光ガイド領域21を、図10(a)~図10(c)に示すように、光導波路4のY字状合波部R、及び出射導波路4bからなる合波部付き出射側導波路の近傍に設ければ、光導波路4から放射され又は漏洩する光の集光性を更に高めることができる。

【0079】なお、本実施形態においては、光ガイド領域21を出射導波路4bの両側に設けた場合について説明したが、光ガイド領域21は出射導波路4bの片側のみに設けてもよい。さらに、本実施形態においては、光ガイド領域21を、Ti等の金属を基板1a中に拡散させるチタン拡散処理により形成した場合について説明したが、この光ガイド領域21は、イオン交換処理により形成することもできる。

【0080】即ち、光ガイド領域21は、基板1a上に光ガイド領域21のマスクパターンを形成して【図8(a)参照】、例えばピロリン酸により熱処理してプロトン交換処理を行なうことにより形成することができる【図8(b)参照】。なお、光ガイド領域21におけるプロトン交換の割合は、350℃の高温酸素中(O

、中)でのアニール処理により調整することができる【図8(c)参照】。

【0081】また、光導波路4も、このプロトン交換処理により形成してもよい。さらに、光導波路4の作製条件を変えることにより、光導波路4から信号光が漏洩しないようにすれば、光ガイド領域21は、光導波路4から放射される放射光のみをガイドすることになる。また、出射導波路4bを、図11に示すように、屈曲部を有する曲線導波路により構成すれば、基板1aの出射側端面から出射された光が、中間導波路4c、4d等に再度入射されるのを防ぐことができる。

【0082】(b)本発明の一実施形態の変形例の説明図26は本発明の一実施形態の変形例にかかる光変調器の構成を示す模式図である。この図26に示す光変調器は、ファイバ直接接続系のマッハツェンダ型光変調器であり、図1に示すものと同様に、例えば超高速光通信システムの送信部において、半導体レーザ等の信号光源から出射される光を変調するための外部光変調器として用いられるものである。

【0083】また、図27は図26に示すマッハツェンダ型光変調器20AのB-B断面図である。ここで、図26に示すマッハツェンダ型光変調器20Aは、光ファイバ9a、9bがそれぞれパッケージ13内のマッハツェンダ型光導波路デバイス1に直接接続されている点を除いては、図1に示すマッハツェンダ型光変調器20と同様に構成されている。

【0084】即ち、図26に示すように、パッケージ13には2つの穴部Hが設けられており、光ファイバ9a、9bがそれぞれ穴部Hに挿通されている。そして、光ファイバ9aの先端は、マッハツェンダ型光導波路デバイス1の基板1aの入射側端面における入射導波路4aの端部と、また、光ファイバ9bの先端は、マッハツェンダ型光導波路デバイス1の基板1aの出射側端面における出射導波路4bの端部と、接着剤C等によりそれぞれ固着されている。

【0085】従って、この場合は、光検知器5は、図26、図27に示すように、光ファイバ9bが接続された基板1aの出射側端面の後段であって、この光ファイバ9bの下部に設けられている。このようなマッハツェンダ型光変調器20Aにおいても、上述した本発明の一実施形態にかかるマッハツェンダ型光変調器20と同様の作用及び効果を得ることができる。

【0086】特に、このマッハツェンダ型光変調器20Aは、ファイバ直接接続系のものであるため、干渉光の位相を任意に設定して光ファイバ9bと光検知器5とを所望の距離だけ離隔して配設することにより、マッハツェンダ型光変調器20Aの製造を容易にすることができる利点がある。なお、このマッハツェンダ型光変調器20Aにおいても、光ガイド領域21を出射導波路4bの片側のみに設ける構成としてもよい。

【0087】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明の光変調器によれば、光ガイド部に光導波路から放射され又は漏洩する光をガイドするとともに、光ガイド部から出射される光と光導波路から漏洩する信号光とを干渉させて干渉光を生成することにより、基板の出射側端面におけるモニタ光としての干渉光の出射位置を調節しながら、基板の出射側端面から出射されるモニタ光の強度を増加させることができる利点がある。

【0088】これにより、変調された信号光が入射される光ファイバと干渉光を受光する光検知器とを所望の距離だけ離隔して配設することができるため、光変調器の機構上の設計を容易にすることができるとともに、光変調器の動作点制御を安定して行なえるようになるため、光変調器の動作点シフトに伴う信号光の消光比の劣化を防止して、安定した光変調を行なうことができる（請求項1～6，8～10，12～18）。

【0089】なお、光ガイド部を、光導波路を構成する合波部及び光導波路を構成し合波部に接続された出射側光導波路からなる合波部付き出射側光導波路の近傍に設ければ、光導波路から放射され又は漏洩する光の集光性を更に高めることができる（請求項7）。また、出射光導波路を、屈曲部を有する曲線光導波路により構成すれば、基板の出射側端面から出射された光が、光導波路の中間導波路等に再度入射されるのを防ぐことができる（請求項11）。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態にかかる光変調器の構成を示す模式図である。

【図2】図1に示す光変調器のA-A断面図である。

【図3】図1に示す光変調器の入射側から出射側をみたときの斜視図である。

【図4】本発明の一実施形態にかかる光変調器の要部構成を示す模式図である。

【図5】図4に示す光変調器におけるマッハツェンダ型光導波路デバイスの出射側の側面図である。

【図6】（a），（b）はそれぞれ光検知器の配設位置について説明するための図である。

【図7】図6（b）に示す光検知器を示す図である。

【図8】（a）～（c）はそれぞれプロトン交換処理について説明するための図である。

【図9】（a）～（c）はそれぞれ光ガイド領域の形状について説明するための図である。

【図10】（a）～（c）はそれぞれ光ガイド領域の配設位置について説明するための図である。

【図11】出射導波路の形状について説明するための図である。

【図12】信号光及び放射光について説明するための図である。

【図13】（a），（b）はそれぞれ信号光及び放射光

について説明するための図である。

【図14】干渉光強度の特性について説明するための図である。

【図15】干渉光強度の特性について説明するための図である。

【図16】干渉光強度の特性について説明するための図である。

【図17】光ガイド領域を設けない場合の信号光のパワー分布を示す図である。

【図18】光ガイド領域を設けない場合の放射光のパワー分布を示す図である。

【図19】光ガイド領域を設けない場合の干渉光の位相分布を示す図である。

【図20】光ガイド領域を設けた場合の信号光のパワー分布を示す図である。

【図21】光ガイド領域を設けた場合の放射光のパワー分布を示す図である。

【図22】光ガイド領域を設けた場合の干渉光の位相分布を示す図である。

【図23】光ガイド領域を設けない場合のBPMシミュレーション結果を示す図である。

【図24】光ガイド領域を設けた場合のBPMシミュレーション結果を示す図である。

【図25】光ガイド領域を設けた場合のBPMシミュレーション結果を示す図である。

【図26】本発明の一実施形態の変形例にかかる光変調器の構成を示す模式図である。

【図27】図26に示す光変調器のB-B断面図である。

【図28】マッハツェンダ型光変調器の構成の一例を示す模式図である。

【図29】図28に示すマッハツェンダ型光変調器の出射側から見た斜視図である。

【図30】マッハツェンダ型光変調器の入出力特性を示す図である。

【図31】マッハツェンダ型光変調器の構成の他の例を示す模式図である。

【図32】図31に示す光変調器におけるマッハツェンダ型光導波路デバイスの出射側の側面図である。

【符号の説明】

1 マッハツェンダ型光導波路デバイス（LN MO D）

1 a 基板

2 進行波電極（電極）

3 接地電極

4 マッハツェンダ型光導波路

4 a 入射導波路

4 b 出射導波路（出射側光導波路）

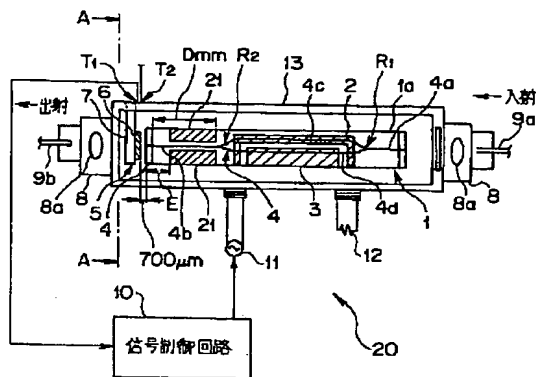
4 c，4 d 中間導波路

5 光検知器（PD）

- 5 a 電極
- 6 ペアチップ (光検出素子)
- 7 セラミック基板 (板部材)
- 8 レンズホルダ
- 8 a レンズ
- 9 a, 9 b 光ファイバ
- 10 信号制御回路
- 11 入力信号電源
- 12 抵抗
- 13 パッケージ
- 20, 20 A マッハツェンダ型光変調器
- 21 光ガイド領域 (光ガイド部)
- 22 信号光源 (LD MOD)
- 23 駆動回路 (DRV)
- 100, 100 A マッハツェンダ型光変調器
- 101 マッハツェンダ型光導波路デバイス

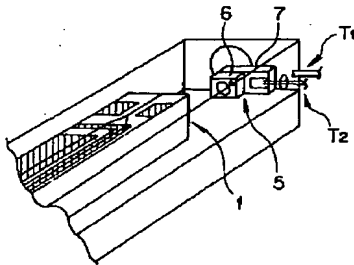
【図1】

本発明の一実施形態における光変調器の構成を示す模式図



【図3】

図1に示す光変調器の入射側から出射側をみたときの斜視図

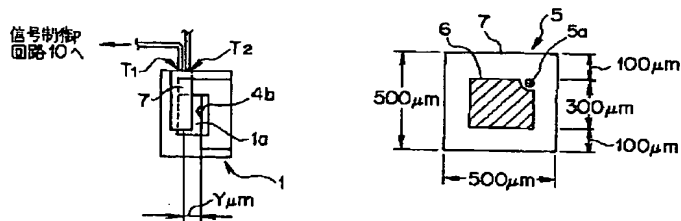


- \* 101 a 基板
- 102 進行波電極
- 103 接地電極
- 104 マッハツェンダ型光導波路
- 104 a 入射導波路
- 104 b 出射導波路
- 104 c, 104 d 中間導波路
- 105 a, 105 b, 106 光ファイバ
- 107 光検知器
- 108 信号制御回路
- 109 入力信号電源
- 110 抵抗
- 111 半導体レーザ
- 112 光検知器
- 113, 116 光ファイバ
- \* 114, 115 レンズ

【図2】

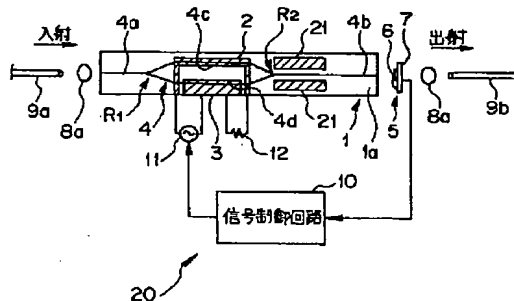
【図7】

図1に示す光変調器のA-A断面図 図6(b)に示す光検知器を示す図



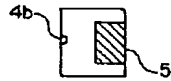
【図4】

本発明の一実施形態における光変調器の要部構成を示す模式図



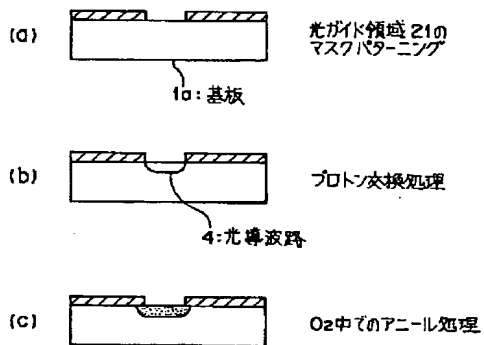
【図5】

図4に示す光検出器におけるマッパヘンダ型光導波路デバイスの出射側の側面図



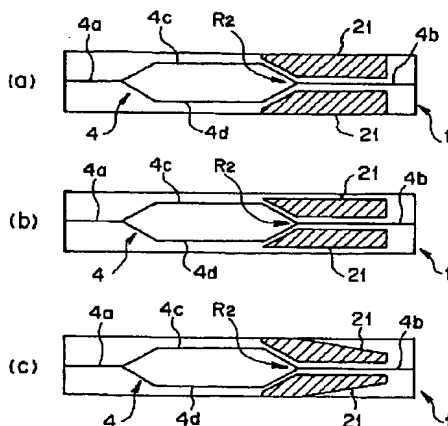
【図8】

プロトン交換処理について説明するための図



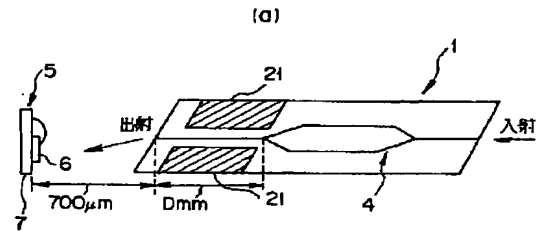
【図10】

光ガイド領域の配設位置について説明するための図

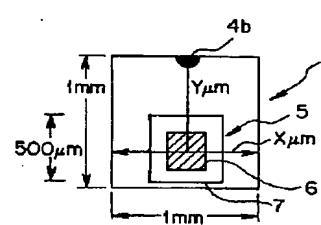


【図6】

光検出器の配設位置について説明するための図

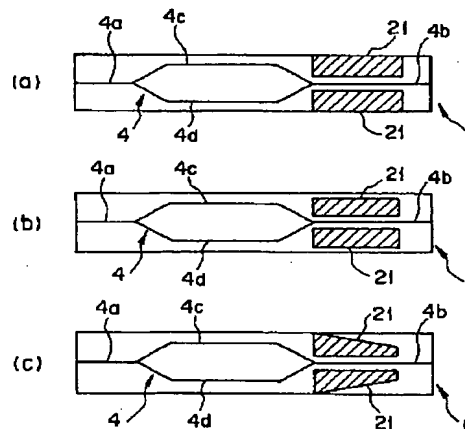


(b)



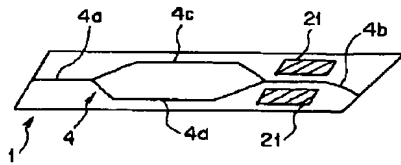
【図9】

光ガイド領域の形状について説明するための図



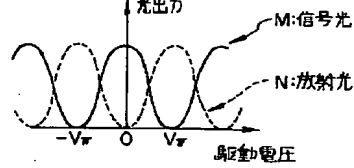
【図11】

出射導波路の形状について説明するための図



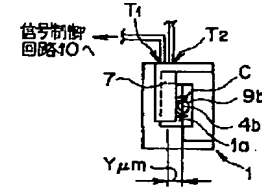
【図12】

信号光及び放射光について説明するための図



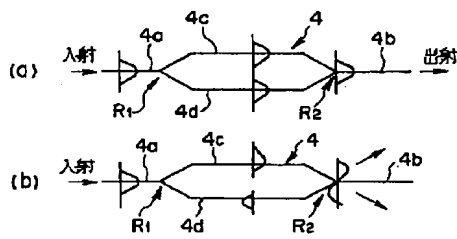
【図27】

図26に示す光変調器のB-B断面図



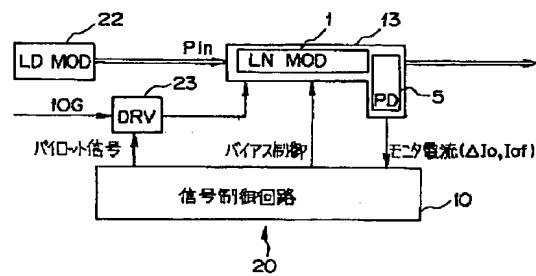
【図13】

信号光及び放射光について説明するための図



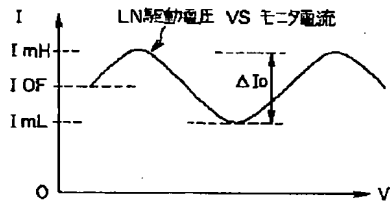
【図14】

干渉光強度の特性について説明するための図



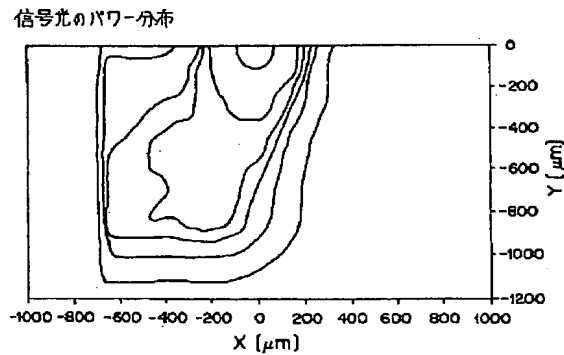
【図15】

干渉光強度の特性について説明するための図



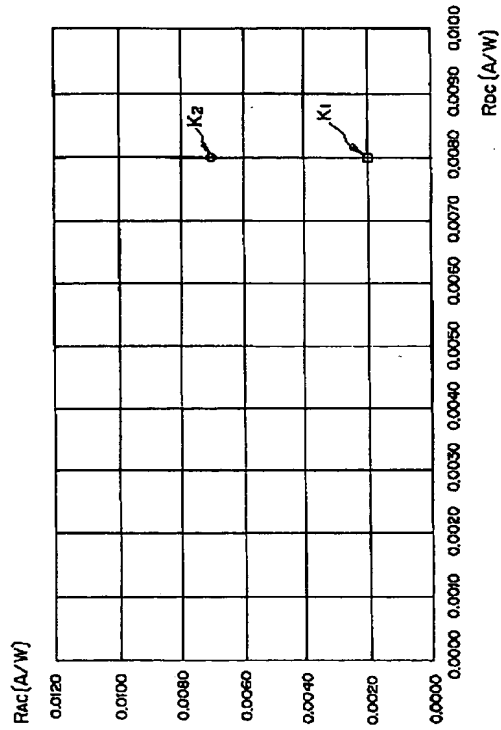
【図17】

光ガイド領域を設けない場合の信号光のパワー分布を示す図



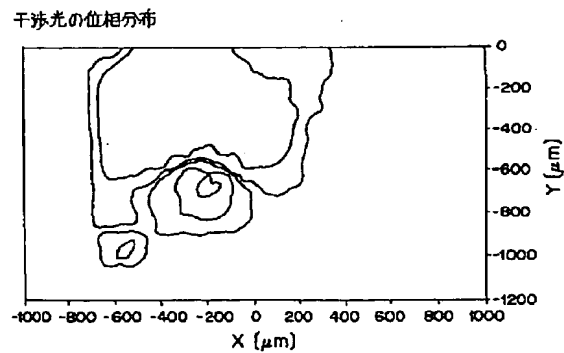
【図16】

干渉光強度の特性について説明するための図



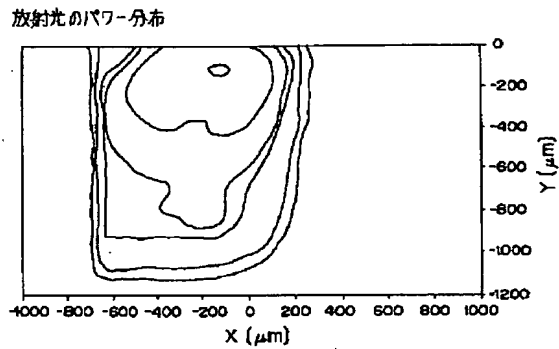
【図19】

光ガイド領域を設けない場合の干渉光の位相分布を示す図



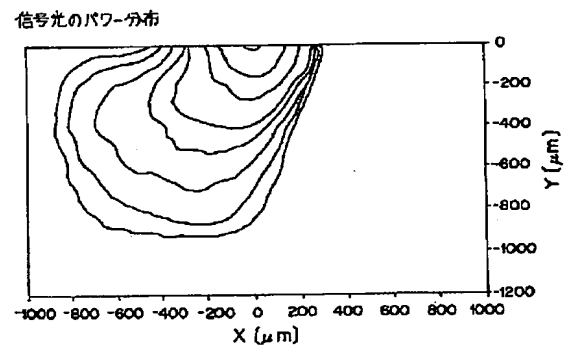
【図18】

光ガイド領域を設けない場合の放射光のパワー分布を示す図



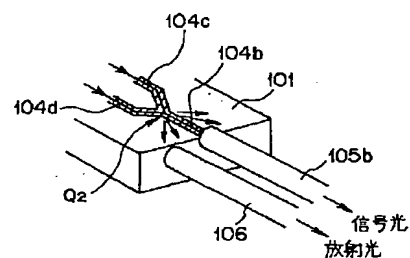
【図20】

光ガイド領域を設けた場合の信号光のパワー分布を示す図



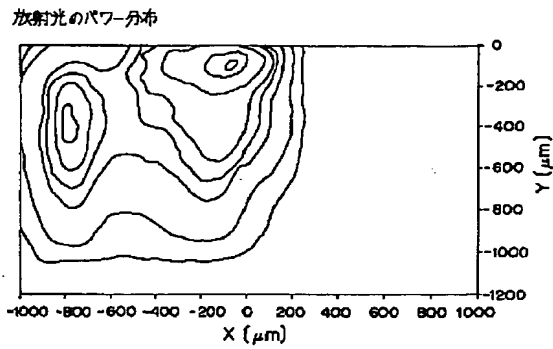
【図29】

図28に示すマッハツェンダ型光変調器の出射側から見た斜視図



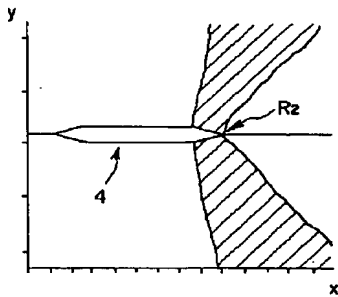
【図21】

光ガイド領域を設けた場合の放射光のパワー分布を示す図



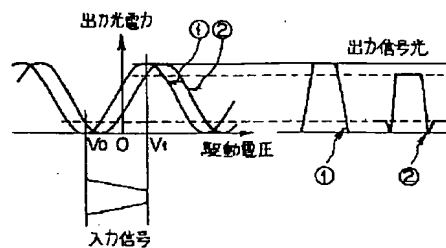
【図23】

光ガイド領域を設けない場合のBPMシミュレーション結果を示す図



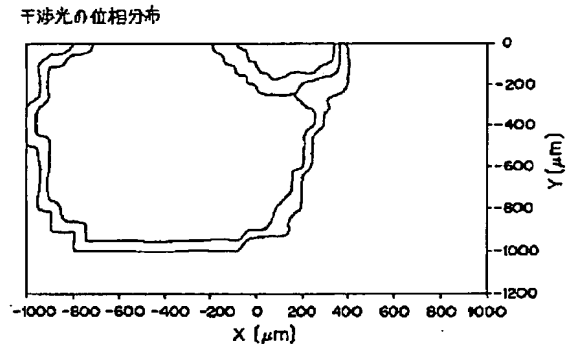
【図30】

マツハツエンダ型光変調器の入出力特性を示す図



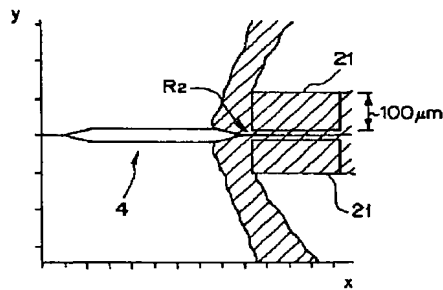
【図22】

光ガイド領域を設けた場合の干渉光の位相分布を示す図



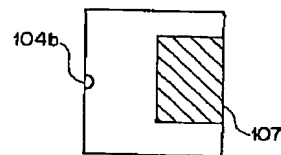
【図24】

光ガイド領域を設けた場合のBPMシミュレーション結果を示す図



【図32】

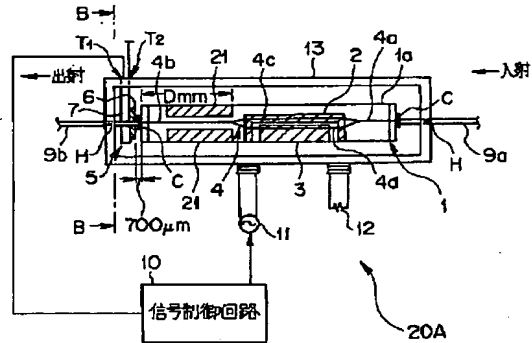
図31に示す光変調器におけるマツハツエンダ型光導波路デバイスの出射側の側面図





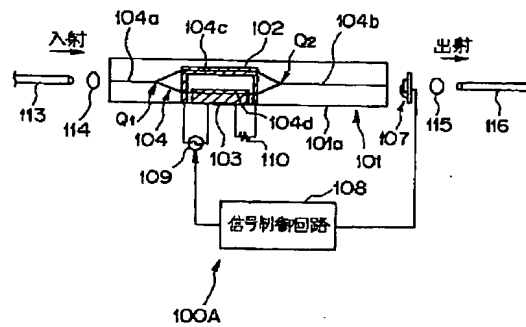
【图 26】

本発明の一実施形態の変形例に於ける光変調器の構成を示す  
模式図



【図 3 1】

マッハツェンダ型光変調器の構成の他の例を示す模式図



(72)発明者 伊藤 知幸  
北海道札幌市中央区北一条西2丁目1番地  
富士通北海道デジタル・テクノロジー株  
式会社内